



Practitioner's Docket No.: 007875-0306631
Client Reference No.: SP 22286 S32/1761/ML

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of: OLIVIER JACQUIN, et al. Confirmation No.: Unknown

Application No.: 10/698,931

Group No.: Unknown

Filed: November 3, 2003

Examiner: Not yet assigned

For: 2 TO N OPTICAL DIVIDER WITH INTEGRATED OPTICS


**Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450**

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Attached please find the certified copy of the foreign application from which priority is claimed for this case:

<u>Country</u>	<u>Application Number</u>	<u>Filing Date</u>
France	0213747	11/4/2002

Date: December 1, 2003
PILLSBURY WINTHROP LLP
P.O. Box 10500
McLean, VA 22102
Telephone: (703) 905-2000
Facsimile: (703) 905-2500
Customer Number: 00909


Robert C. Perez
Registration No. 39328

10/15/2014
10/15/2014
LEWIS & CLARK
OFFICE



BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 29 OCT. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr



26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

1er dépôt

BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

page 1/2



Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 • W / 210502

REMISE DES PIÈCES DATE 4 NOV 2002 LIEU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI 0213747 DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI - 4 NOV. 2002		1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE BREVALEX 3, rue du Docteur Lancereux 75008 PARIS	
Vos références pour ce dossier (facultatif) SP 22286/JL			
Confirmation d'un dépôt par télécopie		<input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie	
2 NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N° _____ Date _____	
ou demande de certificat d'utilité initiale		N° _____ Date _____	
Transformation d'une demande de brevet européen		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N° _____ Date _____	
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) DIVISEUR OPTIQUE 2 VERS n EN OPTIQUE INTEGREE			
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
5 DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)		<input checked="" type="checkbox"/> Personne morale <input type="checkbox"/> Personne physique	
Nom ou dénomination sociale		TEEM PHOTONICS	
Prénoms			
Forme juridique		Société anonyme	
N° SIREN		_____	
Code APE-NAF		_____	
Domicile ou siège	Rue	61 Chemin du Vieux chêne	
	Code postal et ville	13 812 410 MEYLAN	
	Pays	FRANCE	
Nationalité		FRANÇAISE	
N° de téléphone (facultatif)		N° de télécopie (facultatif)	
Adresse électronique (facultatif)			
		<input type="checkbox"/> S'il y a plus d'un demandeur, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	

Remplir impérativement la 2^{ème} page

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE
page 2/2

BR2



REMISE DES PIÈCES

DATE

4 NOV 2002

LIEU

75 INPI PARIS

N° D'ENREGISTREMENT

0213747

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

DB 540 W / 210502

6 MANDATAIRE <i>(s'il y a lieu)</i>	
Nom	DU BOISBAUDRY
Prénom	Dominique
Cabinet ou Société	BREVALEX
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel	CPI 95 0304
Adresse	Rue
	Code postal et ville
	Pays
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>	3, rue du Docteur Lancereaux
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>	17 5 10 10 18 PARIS
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>	FRANCE
N° de téléphone <i>(facultatif)</i> 01 53 83 94 00	
N° de télécopie <i>(facultatif)</i> 01 45 63 83 33	
Adresse électronique <i>(facultatif)</i> brevets.patents@brevaalex.com	
7 INVENTEUR(S)	
Les inventeurs sont nécessairement des personnes physiques	
Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes	<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)
8 RAPPORT DE RECHERCHE	
Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé	<input checked="" type="checkbox"/> Établissement immédiat <input type="checkbox"/> Établissement différé
Paiement échelonné de la redevance <i>(en deux versements)</i>	Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre d'pôt <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES	
Uniquement pour les personnes physiques	
<input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention <i>(joindre un avis de non-imposition)</i> <input type="checkbox"/> Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention <i>(joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence)</i> : AG <input type="text"/>	
10 SÉQUENCES DE NUCLEOTIDES ET/OU D'ACIDES AMINÉS	
<input type="checkbox"/> Cochez la case si la description contient une liste de séquences	
Le support électronique de données est joint	<input type="checkbox"/>
La déclaration de conformité de la liste de séquences sur support papier avec le support électronique de données est jointe	<input type="checkbox"/>
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes	
11 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE	
(Nom et qualité du signataire)	
D. DU BOISBAUDRY CPI 950304	
VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI	

DIVISEUR OPTIQUE 2 VERS n EN OPTIQUE INTEGREE

DESCRIPTION

5 **Domaine technique**

La présente invention concerne un diviseur optique 2 vers n en optique intégrée. Elle concerne plus précisément un diviseur optique présentant des pertes d'excès et un achromatisme satisfaisants pour
10 les applications visées et en particulier pour des applications dans le domaine des télécommunications optiques, notamment dans les fenêtres spectrales 1260-1360 nm et 1480-1660 nm.

On entend, pour un élément diviseur 2 vers 2,
15 par pertes d'excès et par chromatisme satisfaisants, des pertes d'excès inférieures à 0,2 dB (notamment pour l'ensemble des fenêtres spectrales 1260-1360 nm et 1480-1660 nm) et un achromatisme inférieur à 0,5dB (pour l'ensemble de ces mêmes fenêtres).

20 L'invention s'applique à tous les domaines nécessitant une fonction optique 2 vers n et plus particulièrement aux domaines des télécommunications.

Etat de la technique antérieure

25 Un diviseur optique 2 vers n (avec n entier supérieur ou égal à 2) est composé d'au moins un élément diviseur optique comportant 2 entrées et 2 sorties permettant de diviser une onde lumineuse injectée dans une des entrées en 2 parties, réparties
30 selon un rapport de division prédéfini dans chacune des sorties.

Lorsque n est supérieur à 2, le diviseur optique comporte plusieurs éléments diviseurs cascades de façon à présenter 2 entrées et n sorties et permettre la répartition d'une onde lumineuse injectée dans une des 2 entrées sur les n sorties selon un rapport de division prédéfini pour chacune des sorties.

Un diviseur 2 vers 2 classique est par exemple décrit dans le brevet US 5,835,651.

La figure 1 représente schématiquement un diviseur 2 vers 2 classique de ce type réalisé en optique intégrée, dans un plan xy du substrat contenant ledit diviseur.

Sur cette figure, le substrat dans lequel est réalisé le diviseur n'est pas représenté. Seuls sont illustrés un premier et un deuxième guide d'ondes monomodes d'entrées 1 et 3, un premier et un deuxième guide d'ondes monomodes de sorties 5 et 7 et un guide d'ondes bi-modes 9 de longueur L_a selon l'axe x et de largeur W_a selon l'axe y , raccordant les guides d'ondes d'entrée et les guides d'ondes de sortie. Les guides d'entrée et de sortie sont respectivement raccordés au guide bi-mode, avec un angle β par rapport à l'axe x .

Avec ce diviseur, une onde lumineuse E_a injectée dans un des guides monomodes d'entrée, par exemple le guide 1, se propage dans celui-ci en direction du guide bi-mode 9 en se rapprochant du second guide d'entrée 3 établissant ainsi avec ce dernier un couplage de proximité. Ce couplage de proximité est plus important pour les hautes longueurs d'ondes (telles que les longueurs d'ondes comprises dans la bande spectrale 1480-1660 nm) que pour les

basses longueurs d'ondes (telles que les longueurs d'ondes comprises dans la bande spectrale 1260-1360 nm).

Puis en extrémité des guides monomodes d'entrée 1, 3, l'onde lumineuse se couple aux deux modes du guide bi-mode 9. Le couplage entre ces deux modes au cours de la propagation dans le guide bi-mode a un comportement spectral contraire à celui subi dans les guides monomodes, c'est-à-dire un couplage plus faible pour les hautes longueurs d'ondes (1480-1660 nm) que pour les basses longueurs d'ondes (1260-1360 nm).

Enfin, en sortie du guide bi-mode 9, l'onde lumineuse se couple avec une certaine répartition sur les deux guides monomodes de sortie 5, 7. L'onde lumineuse subit alors de nouveau du couplage de proximité et ceci jusqu'à ce que les guides monomodes soient séparés d'une distance H telle que l'onde lumineuse se propageant dans chacun des guides monomodes ne voit plus l'autre guide.

On obtient ainsi une onde lumineuse E_a répartie en deux ondes lumineuses S_{1a} , S_{2a} dans les deux guides monomodes de sortie 5, 7.

Le comportement spectral dans les guides monomodes d'entrée et de sorties qui est contraire au comportement spectral dans le guide bi-mode, permet pour des valeurs de β , de W_a et de L_a bien choisies, d'obtenir un diviseur 2 vers 2 achromatique. Une valeur de β faible permet en outre de limiter les pertes d'excès.

Bien que satisfaisant à certains égards, dans ce diviseur 2 vers 2, l'onde lumineuse subit une

discontinuité à chacune des extrémités du guide bi-mode reliées aux guides monomodes créant des pertes de désadaptation entre les modes du guide bimode et les modes des guides monomodes, ainsi que des pertes de réflexion. Ces pertes de désadaptation et de réflexion sont particulièrement gênantes pour des applications dans le domaine des télécommunications optiques.

Par ailleurs, comme on l'a vu précédemment, les pertes d'excès et l'achromatisme dépendent de β ; pour diminuer le chromatisme, β doit augmenter alors que pour diminuer les pertes d'excès β doit diminuer. Ce comportement du diviseur rend difficile la réalisation d'un diviseur 2 vers 2 présentant à la fois un bon achromatisme et de faibles pertes d'excès.

15

Exposé de l'invention

La présente invention a pour objet un diviseur optique 2 vers n en optique intégrée ne présentant pas les limitations et les difficultés des diviseurs de l'art antérieur.

En particulier, un but de l'invention est de proposer un diviseur 2 vers n présentant de faibles pertes d'excès et un achromatisme satisfaisant notamment pour les télécommunications optiques dans l'ensemble des fenêtres spectrales 1260-1360 nm et 1480-1660 nm. Le diviseur de l'invention est avantageusement très faiblement chromatique voire achromatique et présente un minimum de pertes d'excès.

Dans le reste de la description, on entend par achromatique, aussi bien un faible chromatisme (par

exemple $< 0,5$ dB pour les fenêtres spectrales des télécommunications) qu'un achromatisme "parfait".

Un but de l'invention est aussi de réaliser un diviseur 2 vers n dans lequel les pertes d'excès et le chromatisme sont indépendants afin de faciliter sa mise en oeuvre.

Un but de l'invention est encore de proposer un diviseur 2 vers n ne présentant pas de discontinuité pour l'onde lumineuse afin de limiter les pertes de désadaptation et de réflexion.

Pour atteindre ces buts, l'invention propose un diviseur 2 vers n en optique intégrée, avec n entier supérieur ou égal à 2, comportant dans un substrat au moins un élément diviseur optique 2 vers 2, cet élément comprenant un premier et un deuxième guide de largeurs respectivement W_1 et W_2 aptes à diviser une onde lumineuse d'entrée E introduite dans un des guides, en une première et une deuxième onde de sortie S1 et S2 transportées respectivement par le premier et le deuxième guide ; ces premier et deuxième guides présentent respectivement au moins trois parties :

- une première partie dans laquelle le premier et le deuxième guide se rapprochent progressivement jusqu'à une distance D_c qui est non nulle et inférieure à une distance seuil D_s correspondant à la distance minimum à partir de laquelle l'onde lumineuse d'entrée introduite dans un des guides est apte à être couplé au moins en partie dans l'autre guide,
- une deuxième partie de longueur L_c , dite de couplage, dans laquelle lesdits guides sont

sensiblement parallèles entre-eux et distants de la valeur D_c ,

- et une troisième partie où les guides s'écartent progressivement à partir de la valeur D_c pour être distants d'une valeur supérieure à D_s ,

les valeurs D_c , L_c , W_1 et W_2 sont choisies de façon à avoir un élément diviseur achromatique aux longueurs d'ondes de fonctionnement du diviseur.

L'onde lumineuse est divisée selon un rapport de division CR qui est lié à la sortie d'un des premiers ou seconds guides (par convention).

On entend par guide optique dans l'invention, un guide à confinement latéral, par opposition à guide planaire dans lequel la lumière peut se propager dans un plan : le plan du guide.

Les guides de l'invention sont favorablement monomodes.

Un guide optique se compose d'une partie centrale appelée généralement cœur et de milieux environnants situés tout autour du cœur et qui peuvent être identiques entre eux ou différents.

Pour permettre le confinement de la lumière dans le cœur, l'indice de réfraction du milieu composant le cœur doit être différent et dans la plupart des cas supérieur à ceux des milieux environnants.

Pour simplifier la description, on assimilera le guide à sa partie centrale ou cœur. Par ailleurs, on appellera tout ou partie des milieux environnants, substrat, étant bien entendu que lorsque le guide n'est pas ou peu enterré, un des milieux environnants peut

être extérieur au substrat et être par exemple de l'air.

Suivant le type de technique utilisé, le substrat peut être monocouche ou multicouche.

5 En outre, suivant les applications, un guide optique dans un substrat peut être plus ou moins enterré dans ce substrat et en particulier comporter des portions de guide enterrées à des profondeurs variables. Ceci est particulièrement vrai dans la
10 technologie d'échange d'ions dans du verre.

Selon un mode de réalisation préféré, le diviseur est réalisé en optique intégrée dans un substrat en verre, par les techniques d'échanges d'ions.

15 Selon un mode de réalisation de l'invention, dédié notamment à des applications de télécommunications, le premier et le deuxième guide présentent des largeurs respectives W_1 et W_2 telles que l'élément diviseur compte tenu de D_c et L_c ait un
20 comportement achromatique dans les fenêtres spectrales de fonctionnement de 1260 à 1360 nm et de 1480 à 1660 nm.

Généralement, on choisira $W_1=W_2=W$.

De préférence, les guides se rapprochent
25 et/ou s'écartent de façon symétrique.

Les pertes d'excès C peuvent être définies à partir de l'équation suivante :

$$C = 10 \log (P_{S1} + P_{S2}) / P_E$$

où P_{S1} , P_{S2} , P_E représentent les puissances
30 respectivement de l'onde S_1 , S_2 et E .

Le choix des valeurs D_c , L_c , W_1 et W_2 permet de compenser les phénomènes de couplage de la lumière entre les deux guides, qui sont différents en fonction des longueurs d'onde et ainsi d'avoir un élément
5 diviseur achromatique.

En effet, quand la distance D entre les guides est supérieure à la valeur D_s , il n'y a pas de couplage entre les guides. Lorsque la distance D entre les guides est comprise entre la distance D_s et une
10 distance D_x , les guides établissent un couplage faible de proximité qui est plus important pour les hautes longueurs d'ondes (par exemple 1480-1660 nm) que pour les basses longueurs d'ondes (par exemple 1260-1360 nm). En revanche, lorsque la distance D entre
15 les guides devient petite et comprise entre D_x et D_c , on change alors de régime de fonctionnement et le phénomène mis en jeu est alors du couplage fort de proximité qui est plus faible pour les hautes longueurs d'ondes (par exemple 1480-1660 nm) que pour les basses
20 longueurs d'ondes (par exemple 1260-1360 nm). Ce couplage fort est en particulier réalisé sur la longueur L_c de la deuxième partie.

Par ailleurs, comme D_c est non nul, l'onde lumineuse ne subit dans cet élément diviseur, aucune
25 discontinuité, ce qui se traduit par des pertes d'excès très faibles. Dans un mode de réalisation préféré, D_c doit être supérieure à D_{min} avec $D_{min} = 0,5 \mu m$.

La valeur D_x peut se définir comme la distance séparant les deux guides à partir de laquelle
30 le couplage de proximité est inversé de fort à faible et inversement.

L'élément diviseur 2 vers 2 réalisée selon l'invention peut être assimilé à deux types de coupleurs de proximité ; un premier type de coupleur fonctionnant globalement en régime de couplage faible qui correspond aux parties I et III du diviseur même si, suivant la valeur de D_x , des zones de couplage fort peuvent exister dans ces parties ; un deuxième type de coupleur fonctionnant en régime de couplage fort qui correspond à la parties II du diviseur.

Par ailleurs, dans les parties I et III de l'élément diviseur correspondant aux couplages faibles, le rapprochement des guides et/ou l'éloignement des guides peut se faire selon un arc de cercle de rayon $R \geq R_c$, ou selon une fonction de type sinusoïdale présentant un rayon de courbure minimum $R \geq R_c$. La valeur R_c est définie comme le rayon de courbure critique au-dessus duquel on n'a pas de pertes de courbure à la longueur d'onde la plus haute des fenêtres spectrales considérées (par exemple 1260-1360 nm et 1480-1660 nm), ceci afin de minimiser les pertes d'excès de l'élément diviseur 2 vers 2.

Dans un des modes de réalisation préférée, le rayon R sera pris égal à R_c afin de limiter au maximum le couplage faible de proximité.

En outre, plus R sera petit plus l'élément diviseur sera compacte. Il est donc doublement avantageux de choisir $R = R_c$.

Dans le cas d'un diviseur 2 vers n en optique intégrée, avec n entier supérieur 2, ce diviseur comporte dans le substrat un élément diviseur optique 2 vers 2 tel que décrits précédemment et $n-2$ éléments

diviseurs 1 vers 2 cascades de sorte que le diviseur comporte 2 entrées correspondant aux guides d'entrée de l'élément diviseur 2 vers 2 et n sorties.

Les éléments diviseurs 1 vers 2 sont choisis
5 parmi des coupleurs ou des jonctions Y. Ces éléments diviseurs peuvent être symétriques ou non.

Un élément diviseur dissymétrique peut être obtenu dans le cas d'un coupleur, en jouant sur la longueur d'interaction du coupleur et/ou sur la section
10 des différentes voies de sortie du coupleur.

Un élément diviseur dissymétrique peut être obtenu dans le cas de l'utilisation d'une jonction Y, en jouant sur la section des voies de sortie de la jonction et/ou sur l'angle entre les voies de sortie de
15 la jonction et l'axe optique de la voie d'entrée de la jonction.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront mieux à la lumière de la description qui va suivre et à l'examen des dessins
20 annexés dont la liste est la suivante :

Brève description des figures

- o La Figure 1 déjà décrite, représente schématiquement un diviseur 2 vers 2 connu,
- 25 o la figure 2 représente schématiquement en coupe un diviseur 2 vers 2 selon l'invention,
- o la figure 3 représente schématiquement des graphiques utiles au paramétrage des caractéristiques D_c , W et L_c de l'élément diviseur
30 selon l'invention,

- o la figure 4 représente schématiquement la réponse spectrale du dispositif de la figure 2,
- o la figure 5 représente schématiquement une première variante de réalisation d'un diviseur 2 vers n, lorsque n est supérieur à 2,
- o la figure 6 représente schématiquement une deuxième variante de réalisation d'un diviseur 2 vers n, lorsque n est supérieur à 2.

10 Description détaillée de modes de mise en œuvre de l'invention

La figure 2 représente schématiquement un exemple de diviseur 2 vers 2 formé par un élément diviseur 2 vers 2 selon l'invention, apte à diviser une onde lumineuse E en deux parties S1 et S2 selon un rapport de division CR.

Sur ce schéma, on a représenté une coupe partielle d'un substrat 10, dans un plan xy contenant les différentes directions de propagation des ondes lumineuses E, S1 et S2 dans les guides optiques de cet élément.

Cet élément diviseur comprend dans le substrat 10, un premier et un deuxième guides G1 et G2 de préférence monomodes. Ces guides présentent dans cet exemple une largeur identique W. Ils sont combinés entre eux de façon à diviser une onde lumineuse d'entrée E introduite dans un des guides (par exemple G1), en une première et une deuxième ondes de sortie S1 et S2 selon le rapport de division CR, l'onde S1 étant véhiculée par le guide G1 et l'onde S2 étant véhiculée le guide G2. Si l'onde lumineuse E est introduite dans

le diviseur à partir du guide G2 alors les guides G1 et G2 permettent de fournir respectivement sur leurs sorties des ondes S1 et S2 selon le rapport de division CR, ces ondes pouvant être différentes de celles
5 fournies par le diviseur lorsque l'onde E est introduite par le guide G1.

Les guides G1 et G2 présentent respectivement au moins trois parties :

- 10 - une première partie I dans laquelle les guides G1 et G2 se rapprochent progressivement jusqu'à la distance D_c qui est non nulle et inférieure à une distance seuil D_s correspondant à la distance minimum à partir de laquelle l'onde lumineuse d'entrée E introduite dans l'un des guides voit
15 l'autre guide,
- une deuxième partie II de longueur L_c dite de couplage dans laquelle les guides G1 et G2 sont parallèles entre-eux et distants de la valeur D_c ,
- et une troisième partie III où les guides
20 s'écartent progressivement de la valeur D_c à une valeur supérieure à D_s .

Les valeurs D_c , L_c et W sont choisies de façon à avoir un élément diviseur achromatique aux longueurs d'ondes de fonctionnement.

25 Les distances D_s , D_c sont considérées selon la direction y du plan de coupe de la figure tandis que la longueur L_c est considérée selon la direction x de ce plan.

Dans le domaine des télécommunications, les
30 longueurs d'ondes de fonctionnement correspondent

généralement aux fenêtres spectrales 1260-1360 nm et 1480-1660 nm.

Ces guides optiques peuvent être réalisés dans le substrat par toutes types de techniques et en particulier par les techniques d'échange d'ions ou par les techniques de dépôt et de gravure. La délimitation des guides peut être assurée par un masquage approprié. Ces techniques sont bien connues dans le domaine de l'optique intégrée.

Suivant le type de technique utilisé, le substrat peut être monocouche ou multicouche. Par exemple, dans le cas des techniques par échange d'ions, le substrat peut être du verre.

Avec un tel diviseur, une onde lumineuse E introduite dans le guide $G1$, se propage dans celui-ci, en se rapprochant progressivement du guide $G2$, établissant ainsi avec celui-ci un couplage de proximité, dès que la distance entre les guides $G1$ et $G2$ est inférieure à la valeur seuil D_s (D_s correspondant à la distance minimum à partir de laquelle, pour les longueurs d'ondes de fonctionnement considérées, les deux guides se voient). Tant que la distance D entre les guides $G1$ et $G2$ n'est pas trop petite, alors le phénomène mis en jeu est du couplage faible de proximité qui est plus important pour les hautes longueurs d'ondes (par exemple 1480-1660 nm) que pour les basses longueurs d'ondes (par exemple 1260-1360 nm). En revanche, lorsque la distance D entre les guides monomodes devient petite, on change alors de régime de fonctionnement et le phénomène mis en jeu est alors un couplage fort de proximité qui est plus faible

pour les hautes longueurs d'ondes (1480-1660 nm) que pour les basses longueurs d'ondes (1260-1360 nm).

Le changement de régime de fonctionnement intervient pour une distance D_x entre les guides qui est comprise entre la valeur D_s et la valeur D_c .

Ainsi, dans la partie I, le couplage de proximité entre les guides passe d'un couplage nul (lorsque $D > D_s$) à un couplage faible (lorsque $D_s > D > D_x$) qui est plus important pour les grandes longueurs d'ondes que pour les petites ; puis le couplage de proximité entre les guides passe d'un couplage faible (lorsque $D_s > D > D_x$) à un couplage fort (lorsque $D_x \geq D \geq D_c$) qui est plus important pour les petites longueurs d'ondes que pour les grandes. Ce couplage fort de proximité est maintenu dans la partie II dans laquelle la distance D entre les guides G_1 et G_2 est égale à D_c ($D_x \geq D_c$). Enfin dans la partie III, le couplage repasse d'un couplage fort (lorsque $D_x \geq D \geq D_c$) à un couplage faible (lorsque $D_s > D > D_x$) avec comme précédemment une inversion de comportement de couplage pour les longueurs d'ondes hautes et basses. Enfin, pour une distance D entre les guides supérieure à D_s , il n'y a plus de couplage entre les deux guides.

On obtient ainsi une onde lumineuse E répartie selon les deux ondes S_1 et S_2 dans les deux guides monomodes G_1 et G_2 . Ce comportement contraire entre le couplage faible de proximité et le couplage fort de proximité permet par phénomène de compensation, pour des valeurs de D_c , de W et L_c bien choisies, d'obtenir un élément diviseur achromatique. De plus

dans ce dispositif, D_c étant non nul, l'onde lumineuse ne subit aucune discontinuité, ce qui se traduit par des pertes d'excès très faibles et par la suppression de la dépendance entre pertes d'excès et chromatisme.

5 D_c est supérieure à 0 et dans un des modes de réalisation préféré, D_c doit être supérieure à D_{min} avec $D_{min} = 0,5 \mu m$.

Les paramètres libres permettant de modifier le chromatisme sont : D_c , W et L_c , ce dernier dans une
10 moindre mesure comme nous le verrons dans la suite de la description. D_c , W et L_c ont très peu de répercussions sur les pertes d'excès, assurant ainsi également une indépendance entre ces dernières et le chromatisme. Cette indépendance facilite en outre la
15 mise en œuvre de l'élément diviseur 2 vers 2.

Comme on l'a vu précédemment, le rapprochement des guides peut se faire avec un arc de cercle de rayon $R \geq R_c$, ou avec une fonction de type sinus présentant un rayon de courbure R tel que $R \geq R_c$.
20 R_c est défini comme le rayon de courbure critique au-delà duquel on n'a pas de pertes de courbure à la longueur d'onde de la plus haute des fenêtres spectrales de fonctionnement considérées (par exemple 1260-1360 nm et 1480-1660 nm), ceci afin de minimiser
25 les pertes d'excès de l'élément diviseur 2 vers 2.

Dans un des modes de réalisation préférée le rayon R sera pris égal à R_c afin de limiter au maximum le couplage faible de proximité. A titre d'exemple $R_c = 30000 \mu m$.

L'élément diviseur permet de diviser une onde E en deux parties selon un rapport de division CR telle que :

$$CR = P_{S2} / (P_{S1} + P_{S2})$$

5 par rapport au guide G2 (équation 1)

$$(ou CR = P_{S1} / (P_{S1} + P_{S2}))$$

par rapport au guide G1),

10 P_{S1} , P_{S2} étant respectivement les puissances lumineuses des ondes lumineuses S1 et S2.

Par ailleurs, comme on l'a vu précédemment, l'élément diviseur 2 vers 2 réalisée selon l'invention peut être assimilé à deux types de coupleurs de proximité ; un premier type de coupleur fonctionnant globalement en régime de couplage faible qui correspond 15 aux parties I et III du diviseur même si, suivant la valeur de Dx, des zones de couplage fort peuvent exister dans ces parties ; un deuxième type de coupleur fonctionnant en régime de couplage fort qui correspond 20 à la partie II du diviseur.

D'une façon générale, pour l'amplitude de l'onde, la matrice de transfert T_i d'un coupleur i s'écrit :

25

$$T_i = \begin{pmatrix} \cos(K_i L_i) & \sin(K_i L_i) \\ \sin(K_i L_i) & \cos(K_i L_i) \end{pmatrix}$$

L'élément diviseur de l'invention 2 vers 2 étant assimilé à 2 coupleurs disposés l'un après l'autre, si l'on injecte dans le guide G1 une onde

lumineuse E, la puissance lumineuse en sortie du guide G2 peut s'écrire :

$$P_{S2} = (P_{S1} + P_{S2}) \cdot (\sin(K_1 \cdot L_1) \cdot \cos(K_2 \cdot L_2) + \cos(K_1 \cdot L_1) \cdot \sin(K_2 \cdot L_2))^2,$$

5 soit :

$$P_{S2} = (P_{S1} + P_{S2}) \cdot \sin^2(K_1 \cdot L_1 + K_2 \cdot L_2) \quad (\text{équation 2})$$

où K1, L1 sont les paramètres du coupleur effectif
 10 associé aux bras d'approche dans les parties I et III,
 et K2, L2 sont les paramètres du coupleur de couplage
 fort associé à la partie II. Ainsi, $K_1 = K_{\text{faible}}$, $L_1 = L_{\text{eff}}$
 et $K_2 = K_{\text{fort}}$, $L_2 = L_c$. Les coefficients de couplage K_i
 sont des fonctions respectivement de λ , de la largeur W
 15 des guides et de la distance D les séparant.

A partir des équations 1 et 2, on peut donc
 écrire le rapport de division CR (par exemple par
 rapport au guide G2) sous la forme d'une fonction
 sinusoïdale notamment de L_c :

20

$$CR = \sin^2(K_{\text{faible}}(\lambda, W, D_{\text{eff}}) \cdot L_{\text{eff}} + K_{\text{fort}}(\lambda, W, D_c) \cdot L_c)$$

(Equation 3)

où :

- 25 o $K_{\text{faible}}(\lambda, W, D_{\text{eff}})$ est le coefficient de couplage de
 proximité du coupleur faible d'entraxe effectif
 D_{eff} et de longueur effectif L_{eff} de l'élément
 diviseur que l'on peut associer aux guides G1 et
 G2 dans les parties I et III d'approches,
- 30 o λ est la longueur d'onde considérée de l'onde
 lumineuse,

- $K_{\text{fort}}(\lambda; W, D_c)$ est le coefficient de couplage de proximité du coupleur fort d'entraxe D_c et de longueur L_c , de l'élément diviseur que l'on peut associer à la partie II,
- 5 ○ W est la largeur des guides monomodes de l'élément diviseur 2 vers 2.

Le premier coupleur correspondant dans la partie I et dans la partie III essentiellement aux bras d'approches courbes des guides G1 et G2 présente un
 10 entraxe effectif D_{eff} qui est assez grand car il correspond à la distance moyenne entre les bras d'approche. De ce fait, ce coupleur fonctionne en régime de couplage faible qui est caractérisé par un
 15 couplage plus important aux hautes longueurs d'ondes qu'aux basses longueurs d'ondes. K_{faible} est donc une fonction croissante de λ qui dépend de D_{eff} et L_{eff} . Ces paramètres sont directement reliés au rayon de courbure moyen R des bras d'approche courbes des guides G1 et G2
 20 dans les parties I et III. Le couplage entre les bras d'approche augmente lorsque R augmente, donc pour limiter ce couplage, il faut que R soit le plus petit possible. Afin de limiter ce couplage (R le plus petit possible), mais également les pertes d'excès ($R \geq R_c$),
 25 il est avantageux de prendre $R = R_c$ avec R_c défini comme le rayon de courbure minimum au-delà duquel on n'a pas de pertes de courbure à la longueur d'onde la plus hautes des fenêtres spectrales considérées.

A titre d'exemple, $R_c = 30000 \mu\text{m}$.

30 Le second coupleur de proximité correspond au moins à la partie II dans laquelle les deux guides G1

et G2 sont sensiblement parallèles et distants de D_c . Dans ce coupleur, la distance D_c doit être petite de façon à avoir un fort couplage entre les guides G1 et G2. Ainsi, ce coupleur fonctionne en régime de couplage fort pour lequel le couplage est plus important aux basses longueurs d'ondes qu'aux hautes longueurs d'ondes. K_{fort} est donc une fonction décroissante de λ contrairement à K_{faible} . Le coefficient K_{fort} dépend des paramètres W et D_c , (quand ces derniers augmentent, le coefficient de couplage K_{fort} diminue) ainsi que de λ . Afin de limiter d'éventuelles pertes de désadaptation de mode, il est préconisé de prendre $D_c \geq D_{\text{min}}$.

La variation contraire de K_{faible} et de K_{fort} se traduit par la possibilité d'obtenir un rapport de division entre les deux bras de sortie des guides G1 et G2 (dans la partie III) très peu dépendant de λ . Il faut pour cela que l'évolution en fonction de λ de K_{faible} et K_{fort} soit à peu près identique mais de sens contraire. Les paramètres qui permettent d'obtenir cette compensation entre le couplage fort et le couplage faible sont donc D_c et W .

La figure 3 représente pour différentes longueurs d'onde les variations de CR en fonction de L_c pour des valeurs de $D_c = 1,2 \mu\text{m}$ et $W = 2,8 \mu\text{m}$.

Ces courbes ont été obtenues expérimentalement en faisant varier L_c de 0 à $450 \mu\text{m}$ pour les longueurs d'onde 1260 nm (courbe 41), 1360 nm (courbe 42), 1480 nm (courbe 43) et 1660 nm (courbe 44).

Ainsi d'après l'équation 1 et comme le montre la figure 3, le rapport de division CR entre les bras

de sortie des guides est une fonction sinusoidale de L_{fort} et donc de L_c . Le paramètre L_c permet donc d'ajuster ce rapport de division. Dans le cas ou il y a compensation entre le couplage fort et le couplage faible pour une fenetre spectrale donnee, alors les variations de CR en fonction de L_c , associees aux longueurs d'onde de cette fenetre spectrale, sont des sinusoides tres proches les unes des autres, comme le montre la figure 3. Plus les sinusoides sont confondues et plus l'element diviseur 2 vers 2 est achromatique. L'etude de CR en fonction de L_c permet de paramettrer l'element diviseur.

Si les periodes de la fonction sinusoidale $CR(L_c)$ sont plus longues aux hautes longueurs d'onde qu'aux basses longueurs d'onde alors la zone de couplage fort (partie II essentiellement) compense trop les zones de couplages faibles (parties I et III). Dans ce cas il faut augmenter D_c et/ou W pour avoir une bonne compensation chromatique entre ces deux zones.

Les courbes de la figure 4 illustrent pour un element diviseur 2 vers 2 tel que celui represente figure 2, les pertes totales (dont les pertes d'excès) de l'onde lumineuse entre l'entree par un des guides et la sortie de cette onde par un des guides, en fonction des longueurs d'ondes.

Ainsi, on a represente les pertes pour une onde E :

- entrant par le guide G_1 et sortant par le guide G_1 (courbe E_{G_1} , S1 referenciee 31),
- entrant par le guide G_1 et sortant par le guide G_2 (courbe E_{G_1} , S2 referenciee 32),

- entrant par le guide G2 et sortant par le guide G1 (courbe E_{G2} , S1 référencée 33),
- entrant par le guide G2 et sortant par le guide G2 (courbe E_{G2} , S2 référencée 34).

5

Ces courbes ont été obtenues pour un élément diviseur 2x2 dans lequel $L_c = 220 \mu m$, $CR = 0,5$. Les pertes d'excès de cet élément sont faibles et inférieures à 0,15 dB.

10 On remarque sur la figure 4 que dans les fenêtres spectrales 1260-1360 nm et 1480-1660 nm les pertes totales ne varient pas de plus de 0,5 dB, on peut donc dire que cet élément diviseur est très peu chromatique et présente de très faibles pertes d'excès.

15 Selon un mode avantageux, on peut choisir pour un élément diviseur 2 vers 2 selon l'invention assurant un rapport de division de 0,5 et fonctionnant dans les fenêtres spectrales 1260-1360 nm et 1480-1660 nm :

- 20 - des largeurs de guides W tels que $W < W_c$ où W_c est la largeur maximum pour laquelle les guides sont monomodes pour des longueur d'ondes supérieures à 1260nm,
- un rayon de courbure R des guides dans les parties I et III tel que $R = R_c$ où R_c est le rayon de courbure minimum pour lequel les pertes de courbure à 1660 nm sont négligeables,
- 25 - D_c et W tels que les courbes de variation du rapport de division CR en fonction de L_c soient confondues pour les longueur d'ondes appartenant
- 30

aux fenêtres spectrales 1260-1360 nm et 1480-1660 nm,

- Lc tel que le rapport de division CR soit égal à 0,5.

5

A titre d'exemple, on peut choisir :

- Dc entre 0,6 à 2,6 μm ,
- W entre 1,6 μm à Wc,
- Lc entre 0 à 450 μm .

10

Les figures 5 et 6 représentent schématiquement, respectivement un diviseur 2 vers n selon l'invention dans le cas particulier de $n = 4$.

15 Ces figures illustrent une coupe partielle du substrat 10, dans un plan xy contenant les différentes directions de propagation des ondes lumineuses dans le diviseur de l'invention.

20 Ce diviseur comporte dans le substrat 10 un élément diviseur 15 de type 2 vers 2 tel que celui décrit en référence à la figure 2 cascadié avec 2 éléments diviseurs de type 1 vers 2 qui peuvent être symétriques ou non.

25 Ainsi, chacune des extrémités de sortie des guides G1 et G2 de l'élément 15 est reliée optiquement à un diviseur de type 1 vers 2 de sorte que le diviseur comporte en final deux entrées référencées A1 et A2 aptes à recevoir une onde E et 4 sorties référencées B1, B2, B3, B4 aptes à fournir en sortie respectivement une onde S1, S2, S3, S4.

30

Sur la figure 5, les 2 éléments diviseurs 1 vers 2 sont réalisés par des jonctions Y référencées 21

et 23, la jonction 21 est reliée au guide G1 tandis que la jonction 23 est reliée au guide G2. La jonction 21 comporte en outre deux guides de sorties G'1 apte à fournir l'onde de sortie S1 et G3 apte à fournir l'onde de sortie S3 ; la jonction 23 comporte également deux guides de sorties G'2 apte à fournir l'onde de sortie S2 et G4 apte à fournir l'onde de sortie S4.

Pour obtenir des rapports de division différent de 0,5 entre les différentes branches de chaque jonction Y, on joue sur la section des guides de sortie de la jonction et/ou sur l'angle entre les guides de sortie de la jonction et l'axe optique du guide d'entrée de la jonction.

Sur la figure 6, les 2 éléments diviseurs 1 vers 2 sont réalisés par des coupleurs 25 et 27. Le coupleur 25 est réalisé par le guide G1 et un guide G5 dont une partie est située au voisinage du guide G1 afin de coupler une partie de l'onde véhiculée dans le guide G1, dans le guide G5. Les guides G1 et G5 fournissent donc en sortie les ondes S1 et S3. Le coupleur 27 est réalisé par le guide G2 et un guide G6 dont une partie est située au voisinage du guide G2 afin de coupler une partie de l'onde véhiculée dans le guide G2, dans le guide G6. Les guides G2 et G6 fournissent donc en sortie les ondes S2 et S4.

Pour obtenir des rapports de division différent de 0,5 entre les différentes sorties des coupleurs, on joue sur la longueur d'interaction du coupleur et/ou sur la section des différents guides de sortie du coupleur.

REVENDICATIONS

1. Diviseur 2 vers n en optique intégrée, avec n entier supérieur ou égal à 2, comportant dans un substrat au moins un élément diviseur optique (15) 2 vers 2, cet élément comprenant un premier et un deuxième guide (G_1 , G_2) de largeurs respectivement W_1 et W_2 aptes à diviser une onde lumineuse d'entrée (E) introduite dans un des guides, en une première et une deuxième onde de sortie (S_1 , S_2) transportées respectivement par le premier et le deuxième guide ; ces premier et deuxième guides présentant respectivement au moins trois parties :

- une première partie (I) dans laquelle le premier et le deuxième guide se rapprochent progressivement jusqu'à une distance D_c qui est non nulle et inférieure à une distance seuil D_s correspondant à la distance minimum à partir de laquelle l'onde lumineuse d'entrée introduite dans un des guides est apte à être couplée au moins en partie dans l'autre guide,
- une deuxième partie (II) de longueur L_c , dite de couplage, dans laquelle lesdits guides sont sensiblement parallèles entre-eux et distant de la valeur D_c ,
- et une troisième partie (III) dans laquelle les guides s'écartent progressivement de la valeur D_c pour atteindre une distance de valeur supérieure à D_s ,

les valeurs D_c , L_c , W_1 et W_2 sont choisies de façon à avoir un élément diviseur achromatique aux longueurs d'ondes de fonctionnement du diviseur.

5 2. Diviseur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les guides de l'élément diviseur 2 vers 2 sont monomodes.

10 3. Diviseur selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que le substrat est du verre et les guides sont réalisés par échange d'ions dans le substrat.

15 4. Diviseur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que :

le premier et le deuxième guide (G_1 , G_2) présentent des largeurs respectives W_1 et W_2 telles que l'élément diviseur 2 vers 2, compte tenu des valeurs de D_c et L_c ait un comportement achromatique dans les
20 fenêtres spectrales de fonctionnement de 1260 à 1360 nm et de 1480 à 1660 nm.

5 5. Diviseur selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que :

25 les guides (G_1 , G_2) de l'élément diviseur 2 vers 2 se rapprochent et/ou s'écartent de façon symétrique.

30 6. Diviseur selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que

la valeur D_c est inférieure ou égale à une valeur D_x correspondant à la distance séparant les premier et deuxième guides pour laquelle le couplage entre lesdits guides est inversé de fort à faible et
5 inversement.

7. Diviseur selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que :
dans les première et troisième parties de
10 l'élément diviseur 2 vers 2, le rapprochement des premier et deuxième guides et/ou l'éloignement desdits guides se fait selon un arc de cercle de rayon $R \geq R_c$, ou selon une fonction de type sinusoïdale présentant un rayon de courbure minimum R tel que $R \geq R_c$ où R_c est
15 définie comme le rayon de courbure critique au-dessus duquel on n'a pas de pertes de courbure à la longueur d'onde la plus haute des longueurs d'onde de fonctionnement

20 8. Diviseur selon la revendication 7, caractérisé en ce que $R = R_c$.

9. Diviseur selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que :
25 l'élément diviseur 2 vers 2 fonctionnant dans des fenêtres spectrales 1260-1360 nm et 1480-1660 nm et présentant un rapport de division CR égal à 0,5, on choisit les largeurs W_1 et W_2 allant de 1,6 μm à W_c , la distance D_c allant de 0,6 à 2,6 μm et la longueur L_c
30 allant de 0 à 450 μm , W_c étant la largeur maximum pour

laquelle les guides sont monomodes pour lesdites
fenêtres spectrales.

10. Diviseur selon l'une quelconque des
5 revendications 1 à 9, caractérisé en ce que :

n étant supérieur 2, ce diviseur comporte
dans le substrat un élément diviseur optique 2 vers 2
et n-2 éléments diviseurs 1 vers 2 cascades de sorte
que le diviseur comporte 2 entrées correspondants aux
10 premier et au deuxième guides de l'élément diviseur 2
vers 2 et n sorties.

11. Diviseur selon la revendication 10,
caractérisé en ce que les n-2 éléments diviseurs 1 vers
15 2 sont choisis parmi des coupleurs et/ou des jonctions
Y.

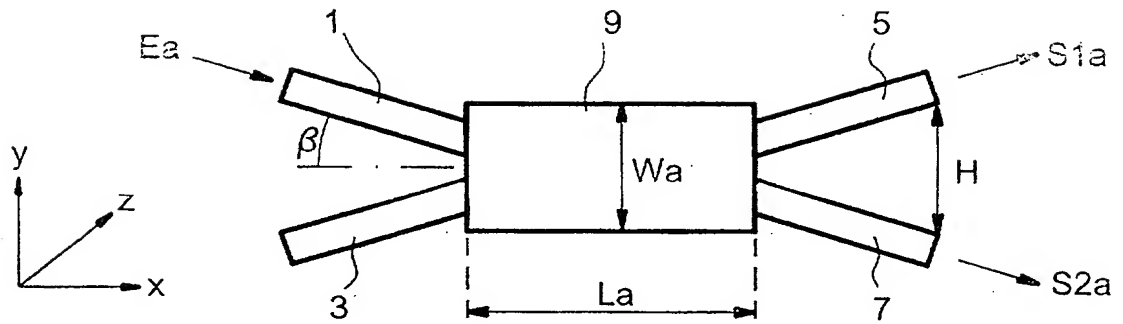


FIG. 1

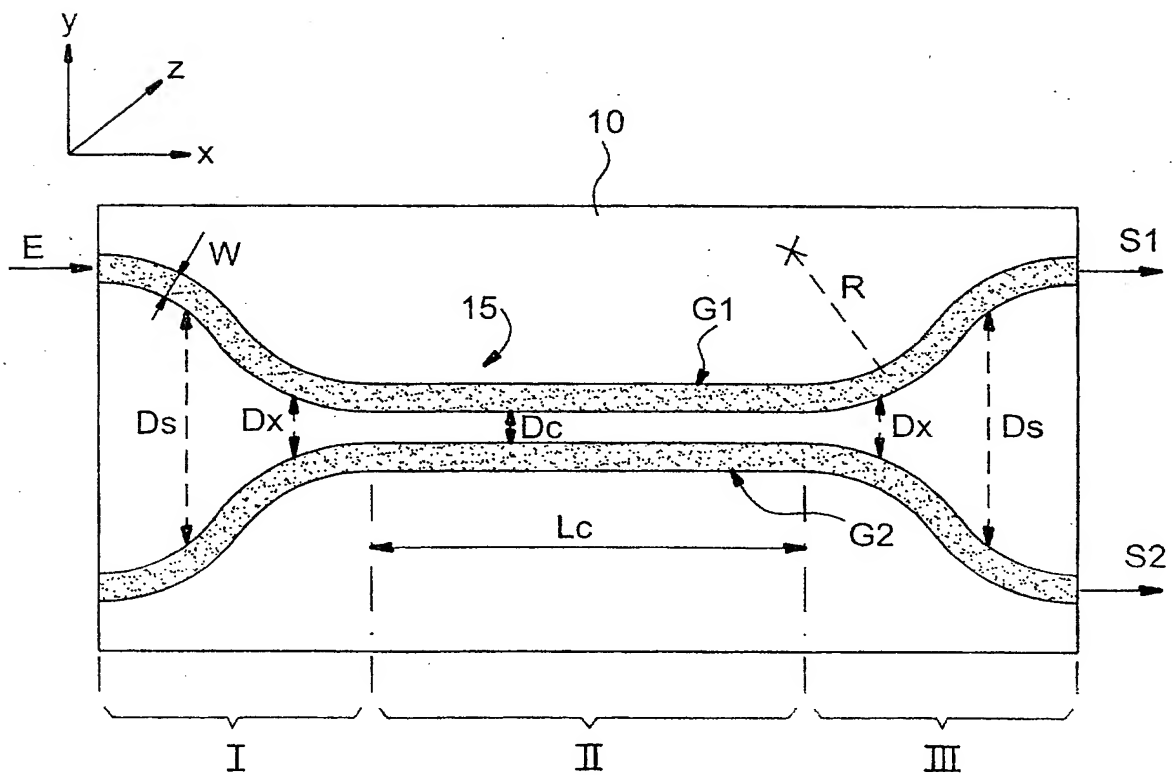


FIG. 2

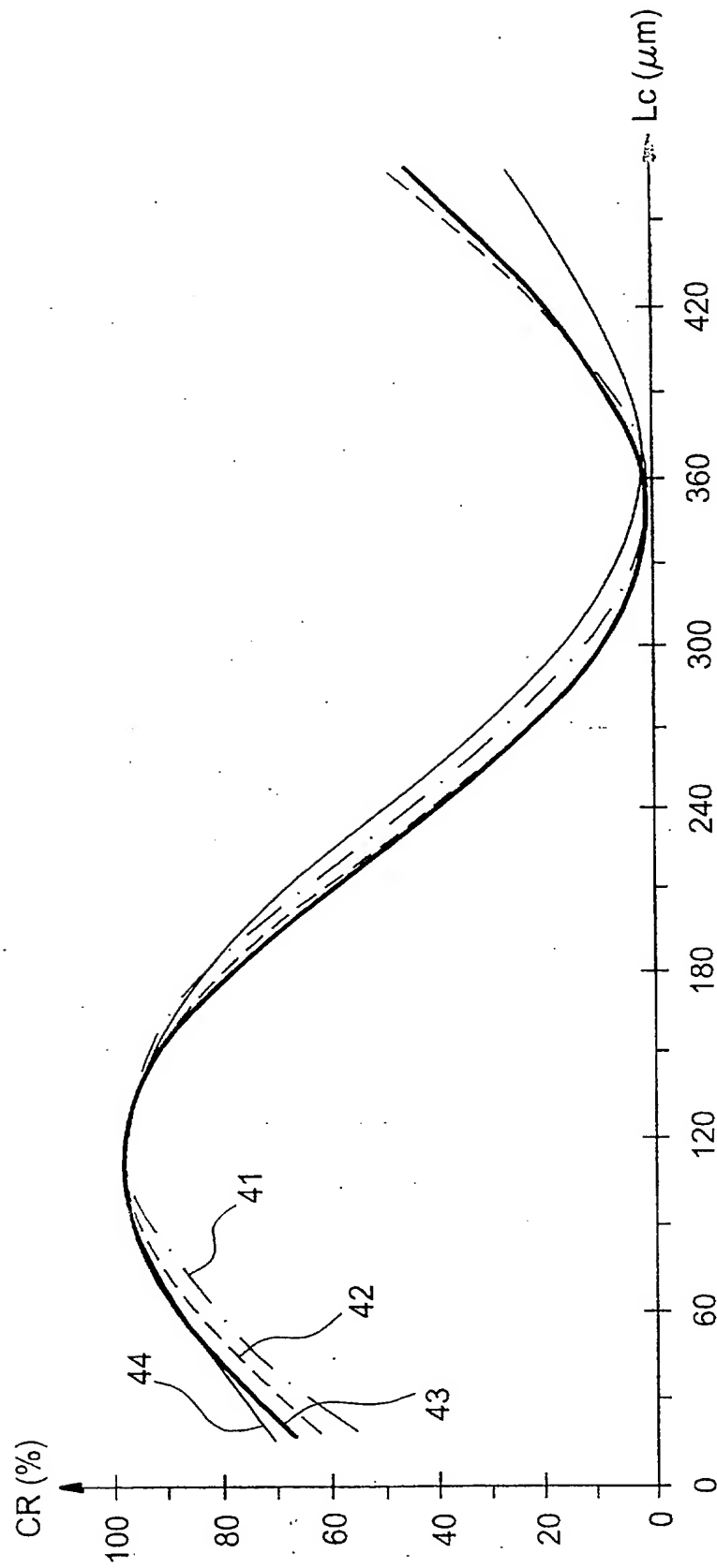


FIG. 3

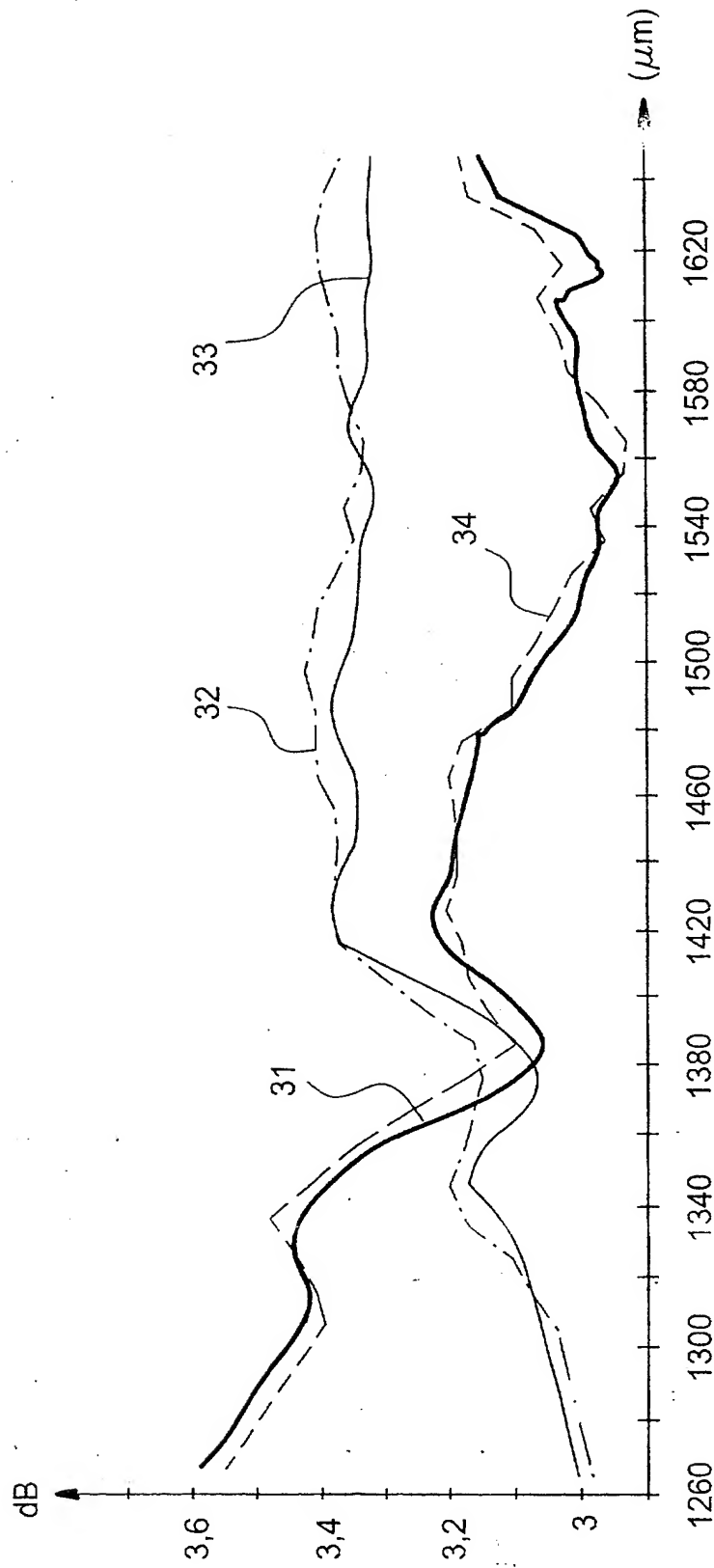


FIG. 4

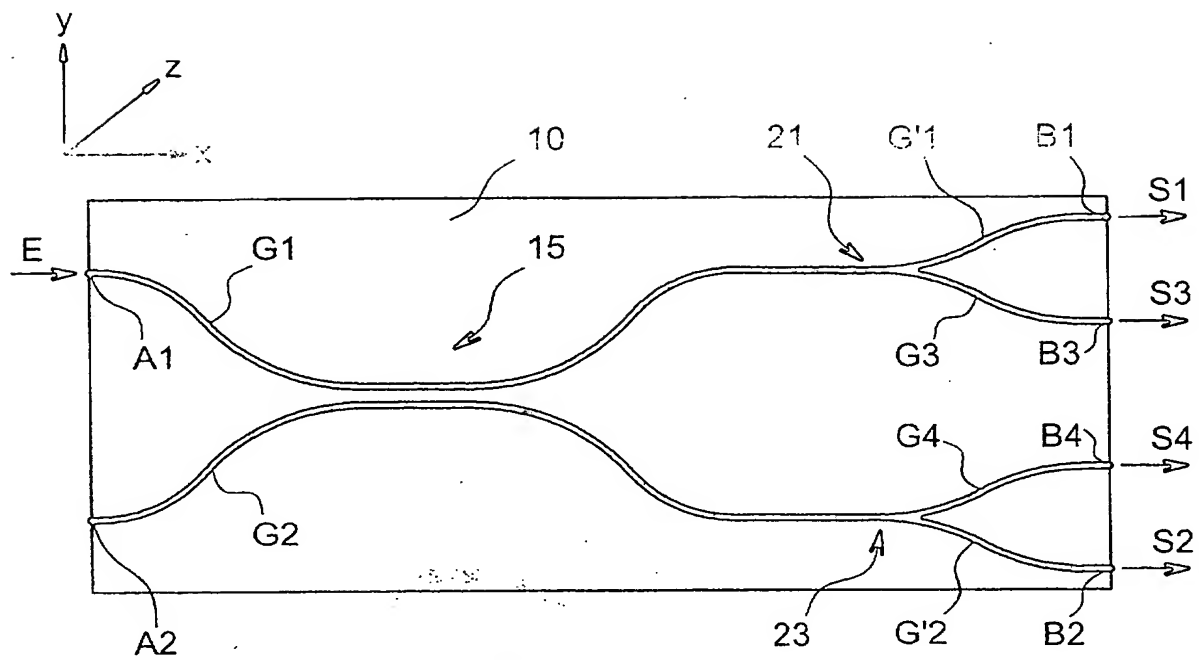


FIG. 5

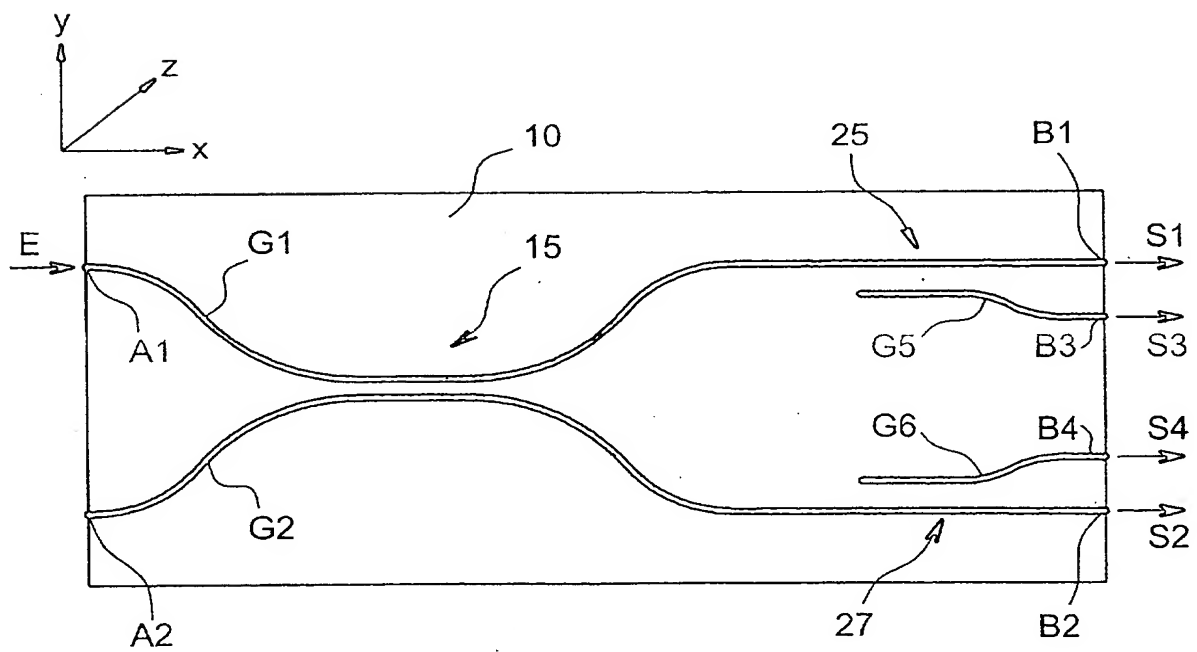


FIG. 6

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1.../1...

(À fournir dans le cas où les demandeurs et
les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)

INV

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

08 113 6 W / 270501

Vos références pour ce dossier (facultatif)		SP 22286/JL
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		02 134 67
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)		
DIVISEUR OPTIQUE 2 VERS n EN OPTIQUE INTEGREE.		
LE(S) DEMANDEUR(S) :		
TEEM PHOTONICS 61, CHEMIN DU Vieux chêne ZIRST 38246 MEYLAN CEDEX FRANCE		
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :		
1	Nom	JACQUIN
	Prénoms	Olivier
Adresse	Rue	71, rue Nicolas Chorier
	Code postal et ville	3 8 0 0 0 GRENOBLE
Société d'appartenance (facultatif)		
2	Nom	GUIDOUX
	Prénoms	Cyril
Adresse	Rue	11, Bld du Maréchal Joffre
	Code postal et ville	3 8 0 0 0 GRENOBLE
Société d'appartenance (facultatif)		
3	Nom	
	Prénoms	
Adresse	Rue	
	Code postal et ville	
Société d'appartenance (facultatif)		
S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivi du nombre de pages.		
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		
PARIS LE 04 Novembre 2002. D. DU BOISBAUDRY		